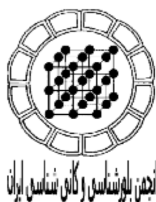
مجله
بلورشناسی
و کانی شناسی
ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۹، از صفحهٔ ۳۷ تا ۵۰



بررسی سنگ نگاری و شیمی کانی‌ها درآپلیت-پگماتیت‌های دره سیمین (جنوب همدان)

علی اصغر سپاهی گرو*، صدیقه سلامی، محمد معانی جو

دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

(دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۱، نسخه نهایی: ۹۸/۳/۱۲)

چکیده: دایک‌های آپلیتی -پگماتیتی موجود در جنوب شرقی همدان، در منطقه سیمین از لبه به سمت مرکز دو منطقه بافتی ویژه دارند که به خوبی اثر پیشرفت تبلور را در این دایک‌ها نشان می‌دهند: ۱- منطقه حاشیه با ساخت‌های ناهمسان شامل واحدهای دانه-ریز، هم رشدی گرافیکی و ساخت‌های انجماد یک جهته و ۲- منطقه داخلی با ساخت‌های توده‌ای و درشت بلور. تجزیه‌های ریزپردازشی برای کانی‌های تورمالین، پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم انجام شد. تورمالین‌ها دارای ترکیب شورلیت هستند. در نمودار FeO/(FeO+MgO) نسبت به MgO که خاستگاه تورمالین‌ها را مشخص می‌کند، تورمالین‌های مورد بررسی دارای Fe# بین ۰٫۸ تا ۱ هستند که نشان دهنده‌ی تشکیل آنها در یک سیستم ماگمایی و دخالت نداشتن سیال‌های خارجی در تشکیل آنهاست. ترکیب پلاژیوکلازهای مورد بررسی غنی از آلبیت (Ab_{90-100}) بوده و فلدسپارهای پتاسیم نیز دارای ۹۷-۹۲ درصد فلدسپار پتاسیم هستند. این امر نشان دهنده پیشرفت تبلور جدایشی در ماگمای وابسته است. منطقه بندی موجود در تورمالین‌های مورد بررسی هم در مقاطع نازک و هم در تجزیه های شیمیایی به خوبی مشهود است. در فلدسپارهای مورد بررسی، مقادیر نسبتاً بالای Rb (۱۳۱۹ ppm) و همچنین Cs (۲۰۵ ppm) نشان دهنده‌ی درجه جدایش بالا در ماگمای وابسته است.

واژه‌های کلیدی: *آپلیت؛ پگماتیت؛ تبلور جدایشی؛ منطقه بندی؛ سیمین؛ پهنه‌ی سنندج-سیرجان.*

مقدمه

از دیرباز، زمین‌شناسان پیرامون شرایط تشکیل پگماتیت‌ها اختلاف نظر داشته‌اند. بیش از یک قرن سنگ‌شناسان از جمله جانز [۱] معتقد بودند که مذاب‌های تشکیل دهنده‌ی پگماتیت‌ها غنی از عناصر فرار (B، P، H و F) بوده و در نتیجه دارای گرانروی پایینی هستند. طی کارهای آزمایشگاهی مشترکی که جانز با بارنهام انجام داد [۲] نظرش تغییر کرد و به این نتیجه رسید که اغلب پگماتیت‌ها فقیر از مواد فرار هستند و گرانروی مذاب تشکیل‌دهنده‌ی پگماتیت‌ها بسیار بالاست. در پژوهش‌های بعدی مشخص شد که حلالیت Al و Si در محلول‌های آبدار پایین است و سیال‌های غنی از آب توانایی حل کردن و تأمین مواد مورد نیاز برای رشد بلورهای پگماتیتی را ندارند و ترکیب سیال‌های موجود در این لایه‌های مرزی فقط آب نیست. Al و Si در مایعات غنی از مواد فرار و قلیایی‌ها بسیار محلول هستند، اما حلالیت آن‌ها در سیال‌های تنها آب‌دار کم است. پژوهشگرانی [۳-۵] مدل پالایش پهنه ساختاری را ارائه کردند که بر اساس آن عامل تشکیل پگماتیت‌ها، لایه‌های مرزی غنی از مواد فرار (B، H، P و F) هستند که در مذاب گرانیتی با گرانروی بالا تشکیل شده‌اند. آنها همچنین پژوهش‌های گسترده‌ای پیرامون ساخت‌های موجود در آپلیت-پگماتیت‌ها انجام دادند. دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی موجود در منطقه سیمین از نظر ساخت‌ها و کانی‌های رایج در آپلیت-پگماتیت‌ها، بسیار ویژه و قابل توجه هستند. از جمله پژوهش‌های انجام شده در منطقه می‌توان به بررسی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۳۱۲۲۱۶۹، نمابر: ۰۸۱۳۸۳۸۱۱۷۲، پست الکترونیکی: aasepahi@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

بافت سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای شرق باتولیت همدان توسط فرهپور [۶] اشاره کرد؛ جعفری [۷] به سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه جنوب سیمین پرداخت. مولایی یگانه [۸] عوامل کنترل کننده‌ی توزیع نامنظم کیانیت در سنگ‌های دگرگونی و آذرین نفوذی منطقه همدان را بررسی کرد. ایزدی کیان [۹] تحلیل ساختاری و سنگ‌بافتی سنگ‌های دگرگونی کوهستان الوند را انجام داد و سپاهی و همکاران [۱۰] نیز زمین شیمی تورمالین-های موجود در دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی الوند و سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان را بررسی کردند. پژوهش‌های پیشین در منطقه بیشتر پیرامون سنگ‌های دگرگونی بوده و دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی موجود در منطقه کمتر مورد توجه بوده است. از این رو در این پژوهش ساخت‌های موجود در این آپلیت-پگماتیت‌ها و شیمی کانی‌های وابسته و خاستگاه آنها به دقت بررسی می‌شود.

روش پژوهش

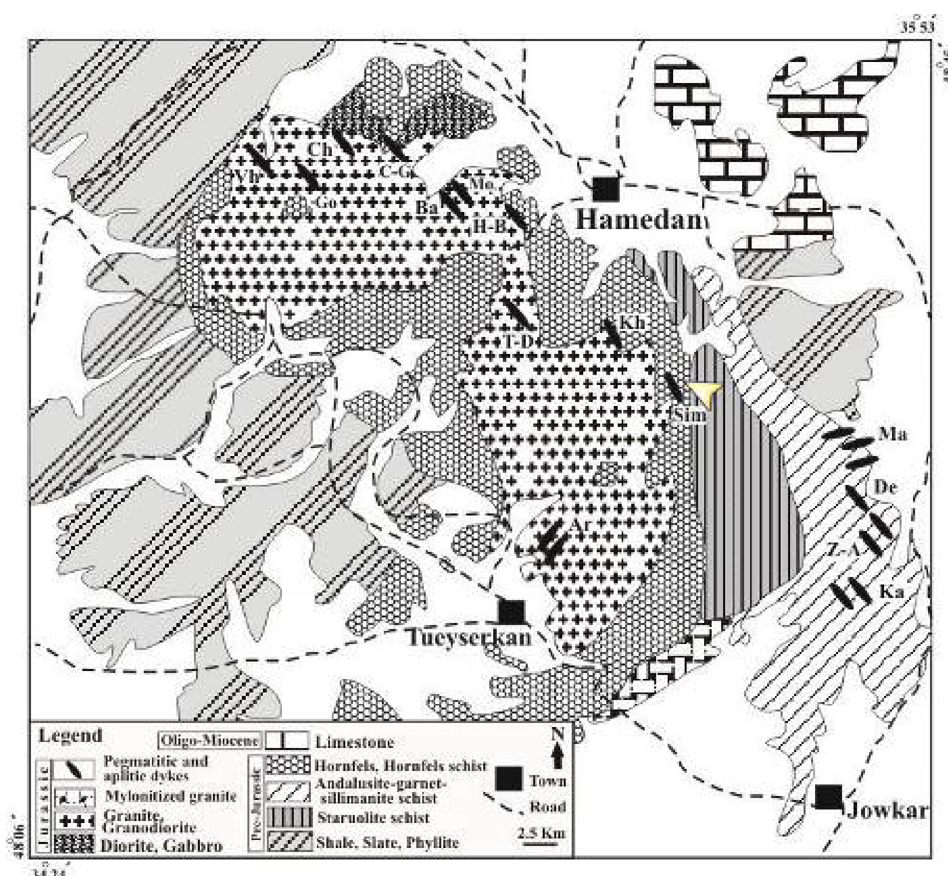
طی بررسی‌های صحرایی، حدود ۱۰۰ نمونه دستی از انواع (دگرگونی و آذرین) سنگ‌های موجود در منطقه برداشت شد که از بین آنها ۲۰ نمونه جهت تهیه مقطع نازک و بررسی میکروسکوپی انتخاب شدند. به منظور بررسی شیمی کانی‌های موجود در آپلیت -پگماتیت‌های منطقه، تجزیه ریز پردازشی برای پنج مقطع نازک صیقلی انجام شد که به طور کلی کانی-های تورمالین (۲۳ نقطه) و فلدسپار (۲۲ نقطه) بررسی شدند. از این تعداد، ۱۰ نقطه تورمالین و ۸ نقطه فلدسپار توسط شرکت فرآوری مواد معدنی کرج با ریزپردازشگر نقطه‌ای مدل SX100 ساخت شرکت Cameca فرانسه در شرایط ولتاژ kV ۱۵، فشار $۴×۱۰^{-۷}$torr و جریان ۲۰ nA تجزیه شد. به منظور تعیین مقدار عناصر فرعی و کمیاب در کانی‌ها نیز تعداد ۲ مقطع نازک صیقلی با ضخامت ۳۰µm به دانشگاه نیوبرونزویک کانادا فرستاده شد، که ۱۳ نقطه تورمالین و ۱۴ نقطه فلدسپار به روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی سایش لیزری (LA-ICP-MS) بررسی شد. در این آزمایش‌ها، عنصر Si به عنوان عنصر پایه در نظر گرفته شد و بقیه عناصر نسبت به آن سنجیده شدند و بنابر این غلظت این عنصر در تجزیه‌ها منظور نشده است. توسط دستگاه مدل Agilent 7700x quardrupole مجهز به یک دستگاه لیزر برانگیخته پار مدل Resonetics S-155-LR نمودارهای لازم با نرم افزارهای رایانه‌ای AX و Mincalculation رسم و تفسیر شدند.

جایگاه جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی همدان قرار دارد راه‌های ارتباطی به منطقه مورد نظر جاده فقیره، ابرو-سیمین است (شکل ۱) [۱۱]. این منطقه در گستره طول‌های جغرافیایی ′۳۱ °۴۸ تا′۳۳ °۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۳۷ °۳۴ تا ′۴۰ °۳۴ شمالی قرار دارد. در پهنه‌بندی ساختاری ایران، این منطقه بخشی از پهنه سنندج- سیرجان به حساب می‌آید. از نظر برخی پژوهشگران [۱۲]، منطقه همدان در زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده پهنه سنندج- سیرجان قرار دارد و دستخوش چندین دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی شده است. در این منطقه، رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای، مجاورتی، میگماتیت‌ها و سنگ‌های نفوذی دیده می‌شود. سنگ‌های نفوذی موجود در منطقه شامل گابرو، دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت، گرانیت، آپلیت و پگماتیت است. بیرون‌زدگی‌های آپلیت- پگماتیت‌های منطقه اغلب منظم و به صورت دایک‌هایی با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی هستند که سنگ‌های میزبان آذرین نفوذی و دگرگونی را قطع کرده‌اند. میزبان این دایک‌ها در منطقه سیمین (جنوب شرق همدان) سنگ‌های دگرگونی با درجه متوسط تا بالا شامل آندالوزیت شیست‌ها، کردیریت هورنفلس و میگماتیت‌ها هستند. شواهد پهنه‌ی برشی در منطقه مورد نظر به خوبی مشهود است. ایزدی کیان و همکاران [۱۳] نیز شواهد پهنه برشی را در گستره منطقه سیمین تا دره مرادبیگ بررسی کرده است و منطقه مورد نظر را پهنه برشی سیمین- دره مراد بیگ نامیده‌اند. در میگماتیت‌های منطقه مانند سایر سنگ‌های دگرگونی، تنوع کانی‌شناسی بسیاری دیده می‌شود و کانی‌های شاخص دگرگونی مانند گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت، گاهی کیانیت، استارولیت، کردیریت و اسپینل به همراه میکاها، کوارتز و فلدسپار در آنها یافت می‌شوند. بر اساس سن‌سنجی انجام شده به روش U-Pb بر کانی زیرکن موجود در میگماتیت‌های منطقه [۱۴]، سن دگرگونی این میگماتیت‌ها ژوراسیک میانی (Ma ۱۸۰-۱۶۰) به دست آمد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

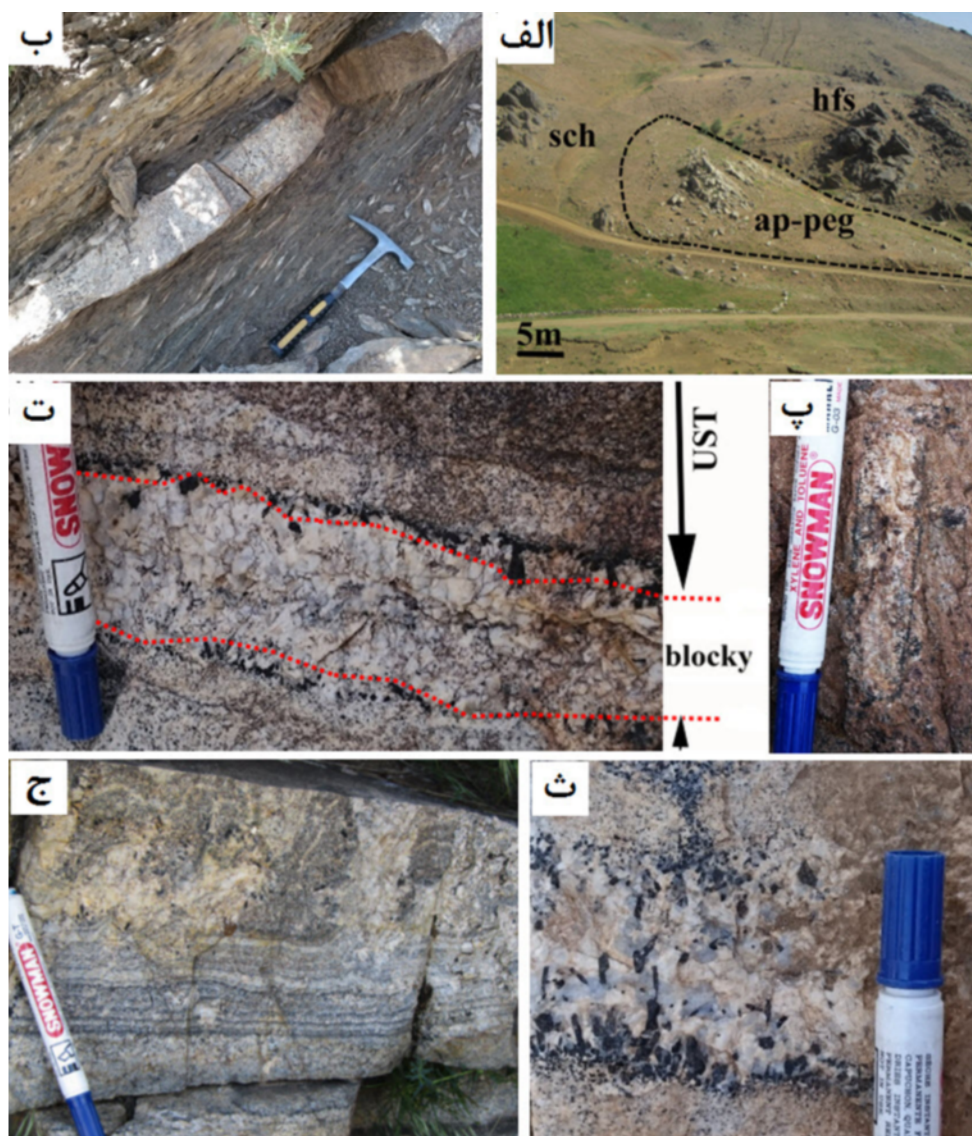


شکل۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی همدان و جایگاه آپلیت-پگماتیت‌های مورد بررسی بر آن، جایگاه منطقه مورد بررسی با پیکان مشخص شده است (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور [۱۱] با تغییرات). علائم اختصاری عبارتند از Ka: کمری، Z-A: زمان-آباد، De: دهنو، Ma: منگاوی، Ar: آرتیمان، Sim: سیمین، Kh: خاکو، T-D: تاریک‌دره، H-B: حیدره بالاشهر، Mo: موئیجین، Ba: برفجین، C-G: چشمه قصابان، Ch: چایان، Go: گوشلان و Vh: وهنان.

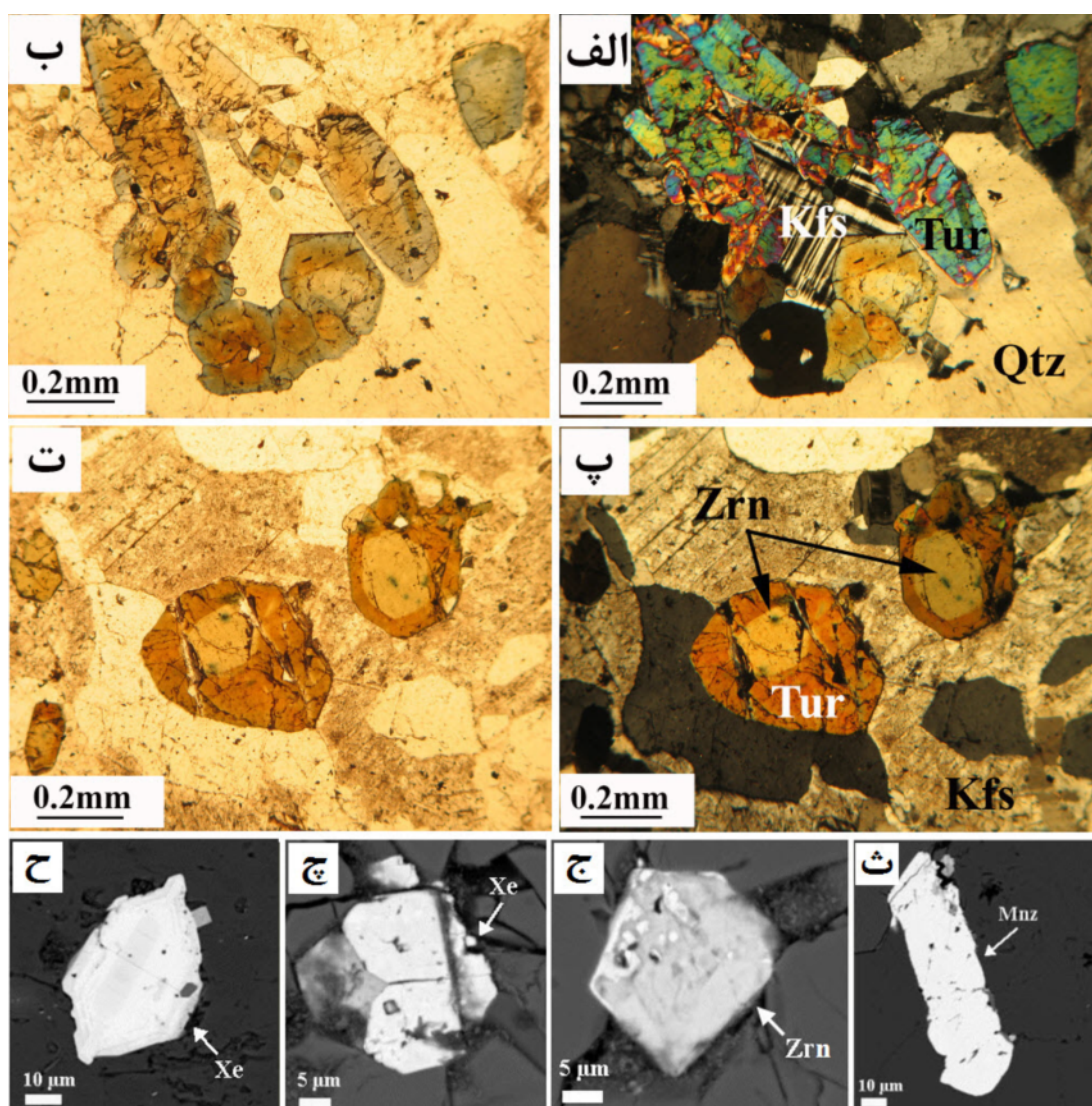
سنگ‌نگاری

سنگ‌های منطقه به دو دسته‌ی سنگ‌های دگرگونی و آذرین تقسیم می‌شوند. در این منطقه شواهد دو فاز دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی کاملاً مشهود است. در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای، در پی تزریق توده‌های نفوذی، دگرگونی مجاورتی نیز رخ داده است. به عبارت دیگر، دستخوش دو فاز دگرگونی (نخست دگرگونی ناحیه‌ای و سپس دگرگونی مجاورتی) شده‌اند. از سنگ‌های دگرگونی مجاورتی انواع هورنفلس (شکل ۲ الف) و از نمونه‌های دگرگونی ناحیه‌ای میگماتیت‌ها، و شیست‌ها (شکل ۲ ب) را می‌توان نام برد. در برخی از این میگماتیت‌ها نوارهای تیره و روشن به خوبی قابل تشخیص است. همچنین در آنها آثار لایه‌بندی اولیه برجای مانده از سنگ مادر به آشکارا دیده می‌شود. در این میگماتیت‌ها، قالب‌های آندالوزیت که با کیانیت و سیلیمانیت پر شده‌اند وجود دارند و پیرامون این بلورهای درشت کیانیتی و سیلیمانیتی شده، ریز بلورهای تورمالین در اثر انتشار بور از دایک‌های آپلیت-پگماتیتی موجود رشد کرده-اند (شکل ۲ پ). علت تشکیل کیانیت در پورفیروبلاست‌های آندالوزیت می‌تواند تنش ایجاد شده در پهنه‌های برشی باشد، زیرا در خارج از پهنه‌های برشی، این تغییرات در پورفیروبلاست‌های آندالوزیت دیده نمی‌شود. تشکیل سیلیمانیت نیز مربوط به افزایش دما در منطقه است. آندالوزیت‌های سیگموئیدی (S شکل) موجود در شیست‌های حاشیه نیز شواهد پهنه برشی را نشان می‌دهند (شکل ۲ ب). مهم‌ترین سنگ‌های آذرین موجود در منطقه شامل دایک‌های آپلیتی- پگماتیتی هستند که در راستای شیستوارگی سنگ-های میزبان نفوذ کرده‌اند و از نظر راستای نفوذ بسیار منظم و دارای راستای NNW-SSE هستند. این دایک‌ها شامل کانی-های کوارتز، میکروکلین، فلدسپار پتاسیم پرتیتی، پلاژیوکلاز و گارنت هستند. پگماتیت‌های این منطقه از آنجا که ساخت نواری دارند، دارای تناوبی از لایه‌های غنی از تورمالین و مسکوویت هستند. تورمالین‌های موجود دارای حلقه‌های منطقه بندی کاملاً مشخصی هستند که در قسمت‌های داخلی بیشتر

چند رنگی قهوه‌ای و در قسمت‌های خارجی چند رنگی آبی دارند (شکل‌های ۳ الف تا ت). بلورهای تورمالین بیشتر دارای میان‌بارهای زیرکن، مونازیت و زینوتیم هستند (شکل‌های ۳ ث تا ح). به طور کلی، این دایک‌ها دارای دو گستره‌ی ساختی هستند (شکل۲ ت): ۱- ساخت‌های ناهمسان مربوط به پهنه خارجی شامل ساخت‌های انجماد تک جهته، رشد بلورها به صورت عمود بر دیواره (شکل ۲ ث)، واحدهای دانه‌ریز شامل آپلیت‌های توده‌ای و نواری (شکل ۲ ج)، هم‌رشدی گرافیکی که این ساختها از مذاب‌های فوق اشباع و گرانرو در شرایط زیر سطح میعان تشکیل می‌شوند. در پهنه خارجی پگماتیت‌ها، به علت گرانروی بالای ماگما، رشد رو به داخل جبهه‌های تبلور به مراتب سریع‌تر از انتشار جانبی آنهاست و در نتیجه رشد بلور کاملاً در راستای مذاب باقی مانده است [۱۵]. ۲- در پهنه داخلی پگماتیت‌ها، ساخت‌های دانه درشت و انباشت توده‌ای کانی‌ها دیده می‌شود. ایجاد این درشت بلورها ناشی از انباشت مواد فرار در مایعات لایه‌های مرزی تشکیل شده در جبهه‌های رشد بلوری و در نتیجه افزایش انتشار عناصر کم سرعت چون Al و Si، در این لایه‌های با گرانروی پایین است [۱۵].



شکل ۲ تصاویر صحرایی منطقه سیمین: الف) تنوع واحدهای سنگی در منطقه سیمین شامل شیست، میگماتیت و دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی، ب) شواهد پهنه برشی در منطقه (آندالوزیت‌های موجود در شیست‌های لبه حالت سیگموئیدی (S شکل) نشان می‌دهند)، پ) انباشت تورمالین در لبه آندالوزیت‌های سیلیمانیتی شده، ت) ساخت‌های انجماد تک جهته از لبه به سمت مرکز (UST) و ساخت توده‌ای (blocky) در مرکز دایک‌های موجود در منطقه، ث) رشد تورمالین‌ها بصورت عمود بر دیواره در لبه آپلیت- پگماتیت‌ها، ج) ساخت آپلیت نواری در لبه آپلیت- پگماتیت‌ها. آپلیت-پگماتیت=ap-peg، هورنفلس=hfs، شیست=Sch.



شکل ۳ الف تا ت) تصاویر مقاطع میکروسکپی از دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی مورد بررسی: الف و ب) تورمالین‌های دارای منطقه بندی، پ و ت) تورمالین‌های دارای منطقه بندی و میان‌بار زیرکن. (تصاویر الف و پ در نور XPL و تصاویر ب و ت در نور PPL). ث تا ح) تصاویر الکترونی پس پراکنده کانی‌های مونازیت، زیرکن و زینوتیم موجود در آپلیت-پگماتیت‌های منطقه سیمین. (Mnz= مونازیت، Zrn= زیرکن و Xe= زینوتیم).

شیمی کانی‌ها

به منظور بررسی شیمی برخی از کانی‌های موجود در آپلیت‌ها و پگماتیت‌های مورد نظر، کانی‌های تورمالین، پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم تجزیه شدند. نتایج به دست آمده در جدول-های ۱ تا ۴ آورده شده است که تفسیر آنها در ادامه می‌آید.

شیمی تورمالین

فرمول عمومی تورمالین را بصورت $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ در نظر می‌گیرند [۱۶]، و با توجه به جانشینی‌های احتمالی در جایگاه X، تورمالین‌ها را بر اساس مقادیر Ca، Na+(K) و نقصان یا تهیجای X (X-vac)، به سه گروه تورمالین‌های کلسیمی، قلیایی و انواع با تهیجای X، تقسیم کرده‌اند [۱۶] (شکل ۴ الف). بر اساس این رده‌بندی، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی قلیایی قرار دارند که این امر نشانگر بالا بودن مقدار Na و K موجود در جایگاه X در مقایسه با مقدار Ca و کمبود جایگاه مورد نظر است. تورمالین-های قلیایی بیشتر در شرایط اسیدی و دمای پایین تشکیل می‌شوند [۱۷، ۱۸]. برای بررسی تغییرات ترکیب در نسبت‌های Fe، Mg، Na و Ca و تشخیص نوع تورمالین‌ها از نمودارهای دوتایی X-vac/(X-vac+Na) نسبت به Mg/(Mg+Fe)

[۱۹] و نمودار Na/(Na+Ca) نسبت به Fe/(Fe+Mg) [۲۰] استفاده شد. در این نمودارها، نمونه‌های مورد بررسی در گستره شورل قرار می‌گیرند (شکل‌های ۴ ب و پ). مقدار Li در تورمالین‌ها با پیشرفت جدایش افزایش می‌یابد [۲۱]. مقدار لیتیم مربوط به تورمالین‌های سیمین ۵۲۸ ppm است که نشان دهنده‌ی تشکیل آنها از یک ماگمای جدایش یافته است.

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی (اکسیدهای اصلی) نمونه‌های تورمالین موجود در آپلیت-پگماتیت‌های منطقه سیمین.

Samples	SIM6-3-1	SIM6-3-2	SIM6-3-3	SIM6-3-5	SIM-6-5-1	SIM-6-5-2	SIM-6-5-3	SIM-6-5-4	SIM-6-5-5	SIM-6-5-6	SIM-6-5-7	SIM-6-5-8	SIM-6-5-9	SIM-1/1	SIM-2/1	SIM-3/1	SIM-4/1	SIM-5/1	SIM-6/1	SIM-7/1	SIM-8/1	SIM-9/1	SIM-10/1
TiO_2	۰/۹	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۹۹	۰/۶۸	۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۴۸	۰/۹۳	۱/۰۲	۰/۴	۱	۰/۷۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۳۵	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۶۳
Al_2O_3	۳۳/۴	۳۴	۳۳/۲	۲۹/۵	۳۲	۳۲	۳۲/۷	۳۲/۲	۳۲/۶	۳۲/۴	۳۲/۵	۳۲/۴	۳۲/۳	۳۸	۳۷	۳۶/۸	۳۷/۱	۳۷/۱	۳۶/۶	۳۶/۹	۳۷	۳۶/۷	۳۶/۸
FeO	۱۲/۵	۱۱/۵	۱۲/۲	۱۰/۵	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۲/۱	۱۱/۸	۱۲/۲	۱۱/۸	۱۱	۱۱/۵	۱۱/۳	۱۲/۹	۱۴/۳	۱۴/۳	۱۴/۱	۱۳/۳	۱۳/۴	۱۳/۱	۱۳/۵	۱۳/۴	۱۳/۲
MnO	۰/۱۴	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۵
MgO	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۶	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۵	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۸۴
CaO	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۸
Na_2O	۱/۷۲	۱/۷۲	۱/۶۳	۱/۴۲	۱/۳	۱/۳۴	۱/۶۷	۱/۶	۱/۶۷	۱/۶۱	۱/۴۸	۱/۶۱	۱/۵۷	۱/۳۲	۱/۶۷	۱/۹۷	۱/۸۹	۱/۹۶	۱/۹۱	۱/۶۱	۱/۸۸	۱/۵۸	۱/۷۱
K_2O	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸
Si	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Al	۷/۷۲	۷/۸۸	۷/۸۱	۷/۹۴	۷/۹۷	۷/۹۶	۷/۷۲	۷/۷۸	۷/۷۱	۷/۷۸	۷/۹۳	۷/۷۵	۷/۷۵	۶/۸۷	۶/۵	۶/۴۶	۶/۵۲	۶/۵۹	۶/۵۴	۶/۷۶	۶/۵۹	۶/۶	۶/۶۳
Ti	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۹
Fe	۲/۰۵	۱/۸۹	۲/۰۳	۲	۱/۹۹	۱/۹۹	۲/۰۳	۲/۰۳	۲/۰۴	۲/۰۱	۱/۹	۱/۹۶	۱/۹۲	۳/۴۹	۳/۷۸	۳/۷۷	۳/۷۲	۳/۵۴	۳/۶	۳/۶	۳/۵۹	۳/۶۱	۳/۵۶
Mn	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴
Mg	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۳
B	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Ca	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲		۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸
Na	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۸۸	۱/۰۴	۱	۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۸۹	۱	۰/۸۵	۰/۹۲
K	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴
Xvacancy	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۰۳	-۰/۱۶	-۰/۰۸	-۰/۱۵	-۰/۱۳	۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۰۴	۰
R1+R2	۲/۹۷	۲/۸۱	۲/۹۰	۲/۸۱	۲/۷۱	۲/۷۴	۲/۹۴	۲/۹۲	۲/۹۵	۲/۹۰	۲/۷۴	۲/۹۰	۲/۸۶	۴/۴۳	۴/۹۰	۵/۱۱	۴/۹۵	۴/۸۷	۴/۹۵	۴/۶۹	۴/۸۶	۴/۷	۴/۸۲
R3	۷/۸۹	۸/۰۰	۷/۹۳	۷/۹۹	۸/۰۴	۸/۰۲	۷/۹۱	۷/۹۲	۷/۹۰	۷/۹۳	۸/۰۳	۷/۹۳	۷/۹۵	۶/۹۴	۶/۶۷	۶/۵۹	۶/۶۸	۶/۷۵	۶/۷	۶/۸۲	۶/۸۲	۶/۷۶	۶/۷۴
Fe#	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴
Sum	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۷	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۲۰/۶	۲۰/۶	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۶	۲۰/۵	۲۰/۶	۲۰/۵

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

جدول ۲ نتایج تجزیه عناصر فرعی و کمیاب تورمالین‌های منطقه سیمین به روش ICP-MS.

نمونه	SIM6-3-1	SIM6-3- 2	SIM6-3- 3	SIM-6-5- 3	SIM-6-5-4	SIM-6-5-5	SIM-6-5-6	SIM-6-5- 7	SIM-6-5- 8	SIM-6-5- 9
Li	۵۰٫۶	۵۲۸	۵۳٫۷	۶۵٫۲	۶۸٫۸	۶۱٫۳	۱۸۲٫۱	۳۴۱٫۴	۷۸	۲۸۴٫۸
Na	۱۳۲۰۰	۱۳۲۶۰	۱۲۵۱۰	۱۲۸۴۰	۱۲۳۳۰	۱۲۸۱۰	۱۲۳۷۰	۱۱۴۱۰	۱۲۳۶۰	۱۲۱۱۰
Mg	۴۰۴۳	۲۸۳۰	۳۷۵۵	۳۷۳۹	۳۷۳۶	۳۷۲۹	۳۷۲۶	۳۸۵۳	۴۸۴۶	۴۶۷۰
P	۰	۲۱	۴۰	۴۷	۶۸	۲۷	۳۲	۴	۵۴	۵۵
K	۴۱۶	۳۶۴	۳۷۷	۴۰۵	۳۵۹	۴۴۰	۳۶۲	۳۱۱	۳۷۴	۴۰۳
Ca	۲۲۱۰	۱۶۹۰	۱۶۳۰	۲۱۹۰	۲۰۴۰	۲۲۰۰	۱۸۸۰	۱۰۸۰	۲۰۲۰	۲۵۲۰
Sc	۱۶۶	۱۲۴٫۷	۱۲۱٫۷	۱۸۲٫۱	۱۵۱٫۲	۱۹۰٫۴	۱۶۸٫۱	۱۶۳٫۹	۱۶۹٫۱	۱۸۵٫۷
Ti	۵۶۵۰	۳۸۲۹	۳۹۷۷	۶۱۶۰	۴۲۳۰	۶۰۷۰	۴۸۷۶	۲۹۹۷	۵۸۱۰	۶۳۸۰
V	۰٫۵۷	۰٫۶۶	۰٫۲۷	۰٫۴۸	۰٫۳۱	۰٫۴۳	۰٫۴۸	۱٫۵۸	۱۲٫۷	۳۴٫۵
Cr	۱٫۲	۱٫۳	۱٫۷	۰	۲٫۸	۱٫۳	۳	۱٫۹	۲٫۳	۰٫۷
Mn	۱۱۴۹	۴۴۱۹	۱۱۴۴	۱۰۲۴	۱۰۱۴	۱۰۳۲	۱۰۳۸	۱۱۲۳	۸۲۹	۸۶۱
Co	۱٫۲۴	۰٫۹۵	۰٫۸۵	۱٫۶۱	۱٫۷۵	۱٫۴	۱٫۵۷	۳٫۸۲	۶٫۷۳	۷٫۹۵
Ni	۰٫۲۷	۰٫۰۵	۰٫۴۵	۰٫۰۴	۰٫۲۳	۰٫۵۵	۰٫۳۴	۰	۰٫۲۶	۰٫۲۷
Ga	۱۰۷٫۴	۱۱۳٫۷	۱۰۷٫۹	۱۱۰٫۷	۱۰۳٫۲	۱۰۶٫۵	۱۰۸٫۶	۹۸٫۳	۱۰۰٫۹	۱۰۲
Ge	۴٫۷	۵	۳٫۳	۲٫۲	۲٫۴	۲٫۲	۳٫۸	۲	۳٫۵	۵٫۱
Rb	۰٫۱	۰٫۱۷	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۳۶	۰٫۱۱	۰	۰٫۲۹	۰٫۰۵
Sr	۰٫۴۵	۰٫۳۶	۰٫۴۹	۰٫۵۴	۰٫۴۴	۰٫۴۱	۰٫۴۵	۰٫۴۱	۰٫۷۸	۰٫۵۴
Y	۰٫۰۱۶	۰٫۰۳۹	۰٫۰۸۷	۰٫۰۳۶	۰٫۰۰۶	۰٫۰۳۸	۰٫۰۲۷	۰	۰٫۱۰۷	۰٫۰۴۶
Zr	۰٫۵۶	۰٫۳۹	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۳۸	۰٫۵۲	۰٫۴۵	۰٫۳۶	۰٫۴۲	۰٫۴۵
Nb	۱٫۳۱	۱٫۲۶	۱٫۳	۱٫۳۶	۱٫۱	۱٫۵۷	۱٫۴۸	۰٫۷۱	۱٫۰۳	۰٫۸۶
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
In	۰٫۸۱	۰٫۹	۰٫۶	۰٫۶۱	۰٫۴۹	۰٫۸۲	۰٫۶۹	۰٫۵۱	۰٫۴۴	۰٫۵۴
Sn	۴٫۶۷	۱۵	۴٫۶۱	۴٫۱۱	۳٫۵۹	۳٫۹۹	۳٫۹۴	۳٫۶۴	۲٫۹۸	۴٫۴۳
Cs	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲
Ba	۰	۱٫۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
La	۵٫۰۶	۲٫۴۳	۲٫۹۵	۵٫۲۲	۳٫۴	۴٫۸۱	۴٫۱۱	۱٫۳۲	۵٫۳۹	۶٫۳۶
Ce	۱۰٫۲۶	۵٫۵۳	۶٫۹۶	۱۰٫۸	۷٫۱۲	۹٫۵۴	۹٫۰۱	۲٫۷۵	۱۰٫۹۹	۱۳
Pr	۰٫۶۹	۰٫۵۳	۰٫۵۸	۰٫۹۶	۰٫۷۳	۱٫۰۱	۰٫۹	۰٫۲۱۵	۰٫۹۱	۰٫۹۲
Nd	۲٫۲۴	۱٫۱	۱٫۷۳	۳٫۲۸	۱٫۷۲	۳٫۵۲	۲٫۴۸	۰٫۶	۳٫۱۲	۳٫۳۲
Sm	۰٫۰۲۶	۰٫۰۹	۰٫۲۴	۰٫۲۵	۰٫۱۳	۰٫۵۲	۰	۰٫۰۳۷	۰٫۲۴	۰٫۴۵
Gd	۰٫۰۴۷	۰	۰٫۰۲۷	۰٫۰۶۵	۰	۰٫۱	۰	۰	۰	۰٫۰۶۲
Ho	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Tm	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Hf	۰	۰	۰	۰٫۰۵۲	۰	۰٫۰۴۴	۰	۰٫۰۳۲	۰	۰
Ta	۰٫۱۳۳	۰٫۵۵	۰٫۱۶۱	۰٫۱۸۸	۰٫۱۷۸	۰٫۲۱۳	۰٫۲۶	۰٫۱۵۱	۰٫۱۵۸	۰٫۲۰۷
Tl	۰٫۰۷۷	۰٫۰۵۲	۰٫۰۵۳	۰٫۰۰۹	۰٫۰۵۴	۰	۰	۰٫۰۴۴	۰	۰
Pb	۱٫۶۳	۱٫۶۱	۱٫۳	۱٫۰۶	۱	۱٫۶۱	۰٫۹۸	۰٫۷۳	۱٫۶۷	۱٫۷

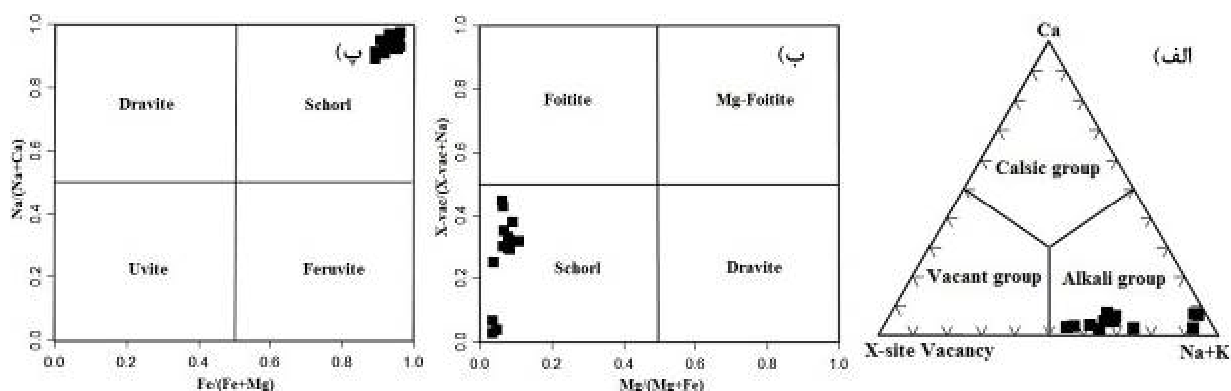
جدول ۳ نتایج تجزیه ریزپردازشی (اکسیدهای اصلی) فلدسپارهای موجود در منطقه سیمین.

نمونه	SIM6-3-1	SIM6-3-2	SIM6-3-3	SIM6-3-4	SIM6-3-5	SIM-6-5-1	SIM-6-5-2	SIM-6-5-3	SIM-6-5-4	SIM-6-5-5	SIM-6-5-6	SIM-6-5-7	SIM-6-5-8	SIM-6-5-9	SIM-1/1	SIM-2/1	SIM-3 / 1	SIM- 4 / 1	SIM -5 / 1	SIM -6 / 1	SIM -7/1	SIM -8 /1
TiO_2	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۴۵۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Al_2O_3	۱۷٫۵۵۰	۱۸٫۹۱۸	۲۰٫۵۰۲	۱۸٫۳۹۶	۶۱٫۱۴۶	۲۰٫۱۹۶	۲۰٫۴۴۸	۲۰٫۶۲۸	۲۰٫۶۴۶	۲۰٫۷۵۴	۲۰٫۰۵۲	۲۰٫۰۵۲	۲۰٫۳۹۴	۲۰٫۵۳۸	۱۹٫۰۷	۱۸٫۵۹	۱۸٫۲۲	۱۸٫۹۲	۲۰٫۶۶	۲۱٫۲۸	۲۰٫۶۹	۲۰٫۲۶
FeO	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۲	۲۲٫۰۰۸	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۲۴	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۳	۰	۰	۰
MnO	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۳۸۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۱
MgO	۰٫۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰۰	۰٫۵۹۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۹	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲
CaO	۰٫۳۸۱	۱٫۴۹۸	۱٫۰۶۸	۰٫۲۵۱	۰٫۴۴۸	۱٫۵۱۹	۱٫۷۶۱	۱٫۴۴۲	۱٫۸۶۵	۱٫۸۶۸	۱٫۲۰۱	۱٫۴۰۴	۱٫۶۹۳	۱٫۲۹۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰	۰٫۱۹	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۵۵	۰٫۱۹
Na_2O	۰٫۴۰۸	۱۰٫۰۵۷	۹٫۶۰۷	۱۰٫۴۲۷	۲٫۸۸۰	۹٫۸۶۷	۹٫۸۰۲	۹٫۴۷۷	۹٫۶۸۶	۹٫۵۲۳	۹٫۶۷۲	۹٫۵۲۹	۹٫۷۱۸	۹٫۵۰۳	۱٫۲۴	۱٫۰۲	۰٫۹۹	۰	۱۲٫۰۱	۱۲٫۲۱	۱۱٫۹۳	۱۱٫۴۳
K_2O	۱۶٫۸۴۸	۰٫۱۰۹	۰٫۵۹۸	۰٫۱۰۳	۰٫۰۶۵	۰٫۱۰۸	۱۶۷	۰٫۷۵۱	۰٫۱۳۳	۰٫۵۹۶	۰٫۴۴	۰٫۵۹۲	۰٫۱۶۴	۰٫۶۲۲	۱۶٫۰۹	۱۶٫۱۵	۱۶٫۵	۱۶٫۶۱	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۰۹	۰٫۰۷
Si	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۰	۲٫۵۵۴	۲٫۵۸	۲٫۵۸۳	۲٫۵۸۶	۲٫۶۷۸	۲٫۶۵	۲٫۶۷۸۵۸	۲٫۷۱۵
Al	۰٫۹۷۲	۰٫۹۹۴	۱٫۰۲۶	۱٫۰۰۹	۱٫۰۹۴	۱٫۰۱۴	۱٫۰۱۲	۱٫۰۱۹	۱٫۰۱۴	۱٫۰۱۲	۱٫۰۱۸	۱٫۰۱۴	۱٫۰۱۴	۱٫۰۲۲	۱٫۰۰۹	۰٫۹۸۳	۰٫۹۶۴	۱٫۰۰۳	۱٫۱۰۲	۱٫۱۳۵	۱٫۰۹۵۶۹	۱٫۰۸۵
Ti	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۲۷۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۲	۰	۰	۰
Mn	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰	۰٫۰۰۰۸	۰	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۸	۰	۰	۰٫۰۰۰۸
Mg	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۲	۰	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۲
Ca	۰٫۰۱۹	۰٫۰۷۲	۰٫۰۴۹	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۶۹	۰٫۰۷۹	۰٫۰۶۵	۰٫۰۸۳	۰٫۰۸۳	۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۵	۰٫۰۷۷	۰٫۰۵۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۴	۰٫۰۴۳۶	۰٫۰۱۵
Na	۰٫۰۳۷	۰٫۸۶۹	۰٫۷۹۱	۰٫۹۴۱	۰٫۰۸۵	۰٫۸۱۵	۰٫۷۹۸	۰٫۷۷۰	۰٫۷۸۳	۰٫۷۶۴	۰٫۸۰۸	۰٫۷۹۳	۰٫۷۹۵	۰٫۷۷۸	۰٫۱۹۷	۰٫۱۶۲	۰٫۱۵۷	۰	۱٫۹۲۲	۱٫۹۵۳	۱٫۸۹۵۳	۱٫۸۳۷
K	۱٫۰۰۹	۰٫۰۰۶	۰٫۰۳۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۹	۰٫۰۴۰	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۱	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۲	۰٫۰۰۹	۰٫۰۳۳	۲٫۵۵۵	۲٫۵۶۲	۲٫۶۱۹	۲٫۶۴۱	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۴۳	۰٫۰۱۱
کل	۲٫۰۳۷	۱٫۹۴۱	۱٫۸۹۹	۱٫۹۶۹	۱٫۴۹۱	۱٫۹۰۳	۱٫۸۹۸	۱٫۸۹۵	۱٫۸۸۸	۱٫۸۹۲	۱٫۹۰۷	۱٫۹۰۵	۱٫۸۹۵	۱٫۸۹۴	۳٫۷۶۲	۳٫۷۱	۳٫۷۴۱	۳٫۶۴۷	۳٫۰۶۲	۳٫۱۱۷	۳٫۰۴۹۸	۲٫۹۵۱
مجموع	۵٫۰۳۷	۴٫۹۴۱	۴٫۸۹۹	۴٫۹۶۹	۴٫۴۹۱	۴٫۹۰۳	۴٫۸۹۸	۴٫۸۹۵	۴٫۸۸۸	۴٫۸۹۲	۴٫۹۰۷	۴٫۹۰۵	۴٫۸۹۵	۴٫۸۹۴	۶٫۳۱۷	۶٫۲۹	۶٫۳۲۳	۶٫۲۳۳	۵٫۷۴۱	۵٫۷۶۷	۵٫۷۲۸۴	۵٫۶۶۶

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

جدول ۴ نتایج تجزیه عناصر فرعی و کمیاب فلدسپارهای منطقه سیمین به روش ICP-MS..

نمونه	SIM6-3 - 1	SIM6-3 - 2	SIM6-3 - 3	SIM6-3 - 4	SIM6-5 -1	SIM6-5 -2	SIM6-5 - 3	SIM6-5 - 4	SIM6-5 - 5	SIM6-5 - 6	SIM6-5 - 7	SIM6-5 - 8	SIM6-5- 9
Li	۰	۳٫۹	۱۱٫۸	۰	۲٫۳	۰	۶٫۵	۰٫۲	۱۹٫۲	۱۵٫۲	۸٫۹	۲	۹٫۶
Mg	۷٫۶	۵٫۴	۱۰۶	۱٫۲۱	۴٫۴	۸٫۷	۲۷٫۸	۰٫۳۱	۸۶	۳۹٫۹	۶۰٫۷	۶٫۲	۵۷٫۹
P	۹۸۰	۱۲۰۷	۴۳۹	۲۷	۸۰۱	۱۰۱۰	۶۸۳	۶۸۸	۱۳۰۰	۵۳۳	۱۰۴۰	۷۶۰	۴۹۷
Sc	۲٫۷۵	۲٫۱۸	۲٫۲۱	۲٫۴۶	۲٫۱۷	۱٫۷۳	۲٫۳۵	۲٫۱۷	۲٫۱۲	۱٫۹۶	۲٫۵۲	۲٫۱۱	۵٫۱۷
Ti	۵٫۲	۲٫۳	۱۱٫۷	۳٫۲	۵٫۱	۶٫۵	۲۶٫۹	۸٫۵	۱۵	۱۵٫۷	۷٫۶	۹٫۳	۳۲٫۱
V	۰٫۰۷	۰٫۱۴	۰٫۱	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۱	۰٫۱۳	۰٫۰۳	۰	۰	۰٫۰۲	۰٫۱۸	۰٫۰۶
Cr	۴٫۵	۵٫۳	۲٫۲	۵٫۹	۵٫۴	۰٫۵	۲٫۶	۰٫۶	۲٫۲	۳٫۲	۳٫۳	۲٫۴	۴
Mn	۸٫۶	۲٫۶	۰٫۶	۰	۰	۰٫۳	۱۸	۰	۱۲٫۹	۱۱٫۱	۸٫۳	۱٫۱	۳۱٫۹
Fe	۱۰٫۳	۱۷٫۹	۱۲۰	۱۷٫۴	۷٫۹	۹٫۳	۱۱۳	۰٫۹	۹۸	۷۳٫۶	۱۳۳	۶٫۴	۲۰۱
Co	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۴۵	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۸
Ni	۰٫۲۱	۰٫۱۶	۴٫۲۲	۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۵۴	۱٫۲۸	۱٫۲۵	۰٫۲۴	۱٫۱۹
Ga	۱۴٫۲	۲۲٫۸	۲۲٫۷	۱۷٫۶	۲۱٫۳	۲۳٫۱	۲۷٫۴	۲۴	۲۳٫۲	۲۱٫۴	۲۴٫۲	۲۲٫۱	۲۵٫۳
Ge	۷٫۱	۴٫۸	۳٫۵	۷٫۷	۴٫۳	۳٫۳	۵٫۶	۲٫۶	۴٫۵	۴	۷٫۷	۳٫۹	۳٫۸
Rb	۱۳۱۹	۰٫۵۴	۲۹	۰٫۳۸	۰٫۸	۲٫۱۷	۲۹٫۳	۰٫۶۵	۲۱٫۶	۱۴	۲۲٫۲	۲٫۲۶	۳۹٫۹
K/Rb	۱۰۶٫۴	۱۶۸۳٫۳	۱۷۱٫۷	۲۲۶۰٫۵	۱۱۲۳٫۹	۶۴۲٫۴	۲۱۳٫۶	۱۷۰۴٫۶	۲۳۰٫۰	۲۶۶٫۴	۲۲۲٫۰	۶۰۵٫۳	۱۲۹٫۸
K/Cs	۶۸۴٫۸	۳۰۳۰۰٫۰	۱۰۸۲۶٫۱	۵۷۲۶٫۶	۱۷۲۸۸٫۵	۲۱۱۲۱٫۲	۲۳۹۸٫۴	۶۹۲۵٫۰	۵۱۲۳٫۷	۸۲۸۸٫۸	۲۲۱۰٫۷	۷۲۰۰٫۰	۹۲۵٫۰
Sr	۳٫۲۱	۲٫۴۸	۱۴٫۷	۱٫۱	۶٫۴۸	۶٫۸۷	۱۶٫۸	۶٫۶۹	۳۲٫۳	۲۱٫۶	۱۹٫۱	۸٫۸۸	۱۰٫۴
Y	۳٫۸۹	۶٫۶۷	۰٫۲۲	۰	۰٫۲۶	۰٫۱۷	۰٫۷۲	۰٫۱۲	۴٫۲۷	۰٫۷۹	۱٫۲۹	۰٫۱۱	۰٫۳۶
Zr	۰	۰	۰٫۱۳	۰	۰	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۲۵	۰٫۲۹	۰٫۱۹	۰	۰٫۰۹
In	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰	۰٫۱۵
Sn	۰٫۲۲	۰٫۱۵	۰٫۸۵	۰٫۰۵	۰٫۳۲	۰٫۲	۵٫۸۴	۰٫۴۳	۰٫۸۲	۰٫۴۷	۱٫۸۸	۱٫۱۹	۱۷٫۹
Cs	۲۰۵	۰٫۰۳	۰٫۴۶	۰٫۱۵	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۲٫۶۱	۰٫۱۶	۰٫۹۷	۰٫۴۵	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۵٫۶
Ba	۶٫۹	۰٫۲۵	۷٫۱	۰٫۳۱	۱٫۸۲	۰٫۵۲	۶٫۵	۰٫۴۱	۱۴٫۵	۸٫۹	۱۰	۱٫۶۵	۳٫۳۵
La	۰٫۹۵	۱	۲٫۸۱	۰	۱٫۴۱	۱٫۹۵	۳٫۹۲	۳٫۱۹	۶٫۲۲	۳٫۵۷	۲٫۲۹	۲٫۵۶	۰٫۹۶
Ce	۲٫۰۲	۳٫۱۶	۵٫۴	۰	۱٫۷۹	۲٫۵۷	۶٫۱۳	۳٫۹۹	۱۱٫۶	۵٫۹	۳٫۵۴	۳٫۹۱	۱٫۶۸
Pr	۰٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۳۹	۰٫۲۶	۱٫۱۲	۰٫۳۹	۰٫۳۲	۰٫۳۲	۰٫۱۲
Nd	۰٫۷۹	۱٫۳۹	۱٫۲	۰	۰٫۵۹	۰٫۲۴	۱٫۴۶	۰٫۵۵	۳٫۷۷	۱٫۴	۰٫۹۵	۰٫۷۲	۰٫۱۴
Sm	۰٫۲۵	۰٫۳۴	۰٫۲	۰	۰	۰٫۰۳	۰٫۲۵	۰	۰٫۶	۰٫۲۲	۰٫۰۲	۰	۰
Gd	۰٫۶	۰٫۸۶	۰	۰	۰٫۰۵	۰	۰	۰	۰٫۸۲	۰	۰٫۳۵	۰	۰٫۰۳
Dy	۰٫۶۳	۱٫۴۲	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۸	۰	۱٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۱۵	۰٫۰۳	۰٫۰۹
Ho	۰٫۱۳	۰٫۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰٫۰۲	۰	۰
Tm	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱
Ta	۰٫۰۴	۰	۰٫۲۹	۰	۰	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰	۰٫۴۳
Tl	۴٫۹۳	۰٫۰۶	۰٫۲۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۲	۰٫۰۱	۰٫۱۹	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۱۲
Pb	۲۳٫۸	۵٫۳۵	۶٫۸۱	۱٫۸۲	۶٫۸	۸٫۸۴	۱۲٫۵	۱۲٫۳	۱۳٫۲	۱۰٫۷	۸٫۷۶	۱۱	۶٫۶۲

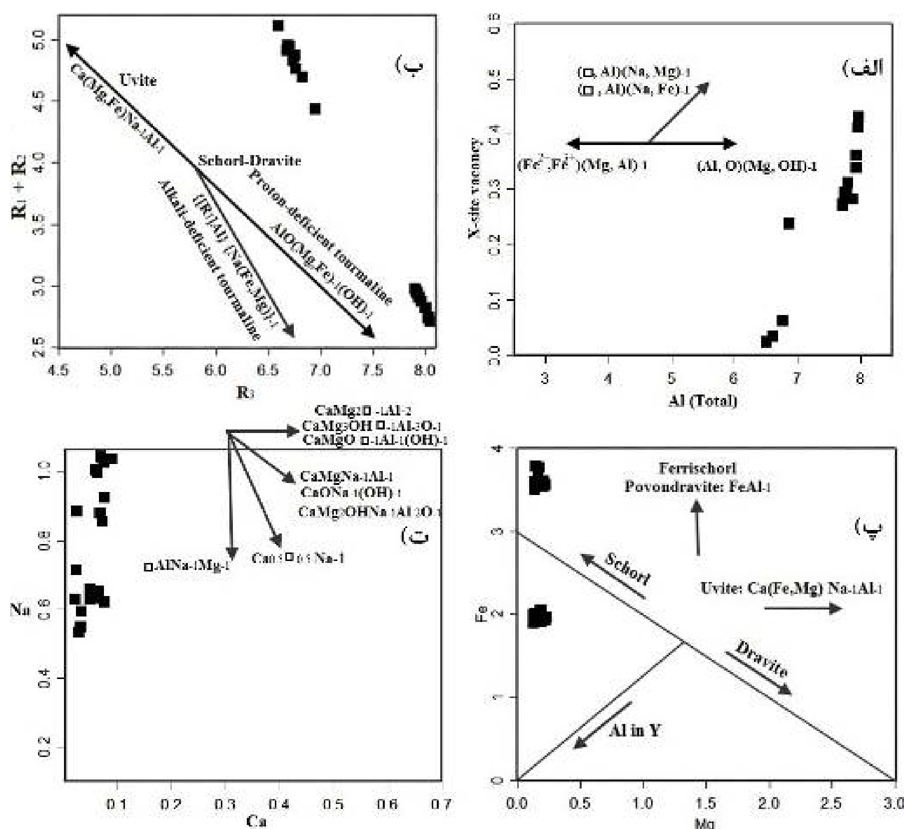


شکل ۴ الف) نمودار مثلثی Ca-(X-vac)-Na+(K) [۱۶]، و جایگاه نمونه‌های مورد بررسی بر آن، xvac=1-(Ca+Na+K). ب) جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودار X-vac/(X- vac+Na) نسبت به Mg/(Mg+Fe) [۱۹] و پ) جایگاه تورمالین‌ها بر نمودار Na/(Na+Ca) نسبت به Fe/(Fe+Mg) [۲۰].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

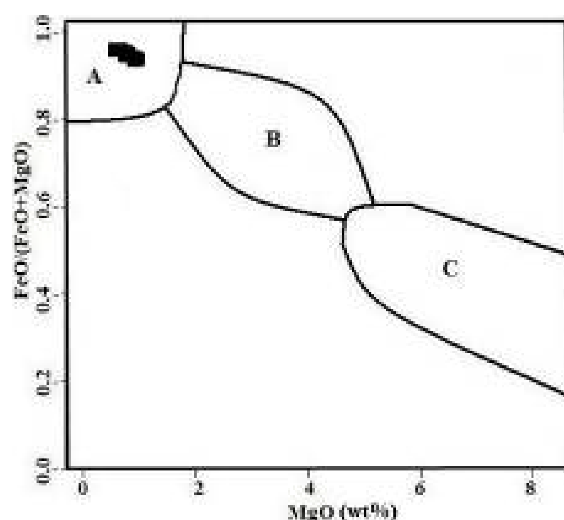
واکنش‌های جانشینی در ترکیب تورمالین

واکنش‌های جانشینی در ساختار تورمالین هم می‌تواند به صورت تبادل یون‌های هم ظرفیت در یک جایگاه ویژه (مانند جانشینی Mg به‌جای Fe^{+2} در جایگاه Y) و هم به‌صورت تبادل یون‌های با ظرفیت‌های متفاوت در جایگاه‌های مختلف (مانند جانشینی Ca-Mg به‌جای Na-Al که دو جایگاه X و Y را درگیر می‌کند) انجام شود. به منظور بررسی واکنش‌های جانشینی احتمالی صورت گرفته در ترکیب تورمالین‌های مورد بررسی، از نمودارهای متفاوتی استفاده شد (شکل ۵). با توجه به روند قابل مشاهده در شکل ۵ الف [۲۲]، در تورمالین‌های مورد بررسی بیشتر واکنش کمبودهای قلیایی با فرمول $\{\square, Al\}\{(Mg,Fe)Na\}_{-1}$، دیده می‌شود. در شکل ۵ ب نیز که برای بررسی واکنش‌های جانشینی ترکیب تورمالین‌ها استفاده می‌شود [۲۳]، ترکیب شورل-دراویت نزدیک به مرکز نمودار قرار می‌گیرد. تورمالین‌های مورد بررسی در این نمودار در بالای پیکان پروتون‌زدایی قرار دارند و راستای آنها در جهت پیکان کمبود قلیایی‌هاست، که نشان دهنده‌ی تأثیر تهی شدن از قلیایی در این نمونه‌هاست. در شکل ۵ پ، ترکیب شورل-دراویت روی خط $\sum(Fe+Mg)=3$ قرار می‌گیرد و همه‌ی نمونه‌هایی که زیر این خط دارای $\sum(Fe+Mg)<3$ بوده که بیانگر جانشینی Al در جایگاه Y است، بنابراین هر چه مقدار $\sum(Fe+Mg)$ کمتر باشد، میزان جانشینی Al در جایگاه Y بیشتر می‌شود [۲۴]. در بالای خط شورل-دراویت نیز مولفه تبادلی پوندراویت و اوویت وجود دارد. بر اساس این نمودار، برخی از تورمالین‌های مورد بررسی دارای جانشینی Al در جایگاه Y هستند و برخی از نمونه‌ها که در بالای خط $\sum(Fe+Mg)=3$ قرار می‌گیرند، دارای مقدار Fe بسیار بیشتر از Mg بوده و ترکیب آنها به فری شورل نزدیکتر است. به منظور بررسی غنی شدگی نسبی برخی از نمونه‌ها از Ca نسبت به Na و تعیین واکنش‌های جانشینی مؤثر، از نمودار Na نسبت به Ca استفاده شد [۲۵] (شکل ۵ ت).

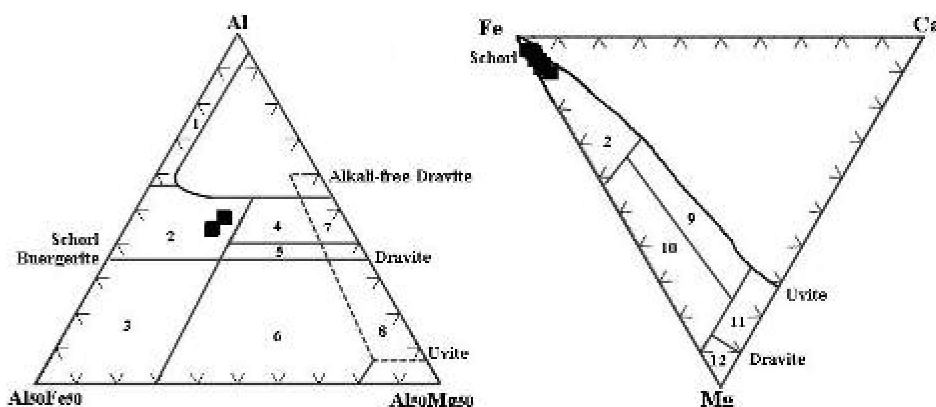


شکل ۵ الف) جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودار Al_{tot} نسبت به Xvac[۲۲]. ب) جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودار R_1+R_2 نسبت به R_3[۲۳] که R_1=Ca+Na، R_2=Fe+Mg+Mn، R_3=Al+1.33Ti. پیکانهای جدا شده از ترکیب آرمانی شورل- دراویت نشان دهنده‌ی جانشینی‌های یوویت (پیکان بالایی) و جانشینی‌های تورمالین‌های ناقص از نظر قلیایی و پروتون‌زدایی (پیکان های پایینی) هستند، پ) جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودار Fe نسبت به Mg[۲۴]. ت) جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودار Na نسبت به Ca[۲۵].

بیشتر نمونه‌های مورد بررسی دارای Ca کمتر از ۰/۱ هستند، در حالی که مقدار Na در این نمونه‌ها تغییرات گسترده‌ای دارد پس در تشکیل این تورمالین‌ها مؤلفه‌ی $\square AlNa_{-1}Mg_{-1}$ مؤثر است که بیانگر تشکیل تهیجای X است [۲۶]. بر اساس نمودار تغییرات FeO/FeO+MgO براساس MgO [۲۷]، تورمالین‌های موجود در توده‌ی گرانیتی بوجود آمده‌اند و شاره‌های خارجی در تشکیل آنها نقشی نداشته‌اند (شکل ۶). با توجه به نمودارهای سه تایی $Al-Al_{50}Fe_{(tot)50}-Al_{50}Mg_{50}$ و Ca-Fe-Mg [۲۸] که خاستگاه را مشخص می‌کند، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار دارند (شکل ۷).



شکل ۶ نمودار FeO/FeO+MgO نسبت به MgO [۲۷] گستره‌ی A شاخص تورمالین‌های درون و نزدیک توده‌ی گرانیتی و نشانگر بسته بودن سیستم ماگمایی و دخالت نداشتن سیال‌های خارجی در تشکیل تورمالین‌هاست، گستره‌ی B شاخص تورمالین‌هایی است که در فاصله‌ی نزدیک تا حد واسط توده‌ی گرانیتی قرار دارند. هم سیال‌های ماگمایی و هم سیال‌های گرمابی در تشکیل این تورمالین‌ها نقش داشته‌اند. گستره‌ی C نشان دهنده‌ی تورمالین‌های دور از توده گرانیتی است و اشاره به خاستگاه خارجی بور و وجود یک سیستم گرمابی دارد.



شکل۷ جایگاه تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودارهای سه تایی $Al-Al_{50}Fe_{(tot)50}-Al_{50}Mg_{50}$ و Ca-Fe-Mg [۲۸] ۱ گرانیتوئیدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۲- گرانیتوئیدهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۳- سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{+3}، ۴- متاپلیت‌ها و متا پسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از آلومینیوم، ۵- متاپلیت‌ها و متا پسامیت‌های ناهمزیست با یک فاز اشباع از آلومینیوم، ۶- سنگ‌های آهکی‌سیلیکاتی، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز-تورمالین سرشار از Fe^{+3} ۷- اولترامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و ته نشست‌های دگرگون شده غنی از وانادیم و کروم ۸- متاکربنات‌ها و متا پیروکسنیت‌ها ۹- سنگ‌های کالک‌سیلیکاته، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های غنی از Ca ۱۰- سنگ‌های کوارتز-تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca، ۱۱- متاکربنات‌ها ۱۲- فرامافیک‌های دگرگون شده.

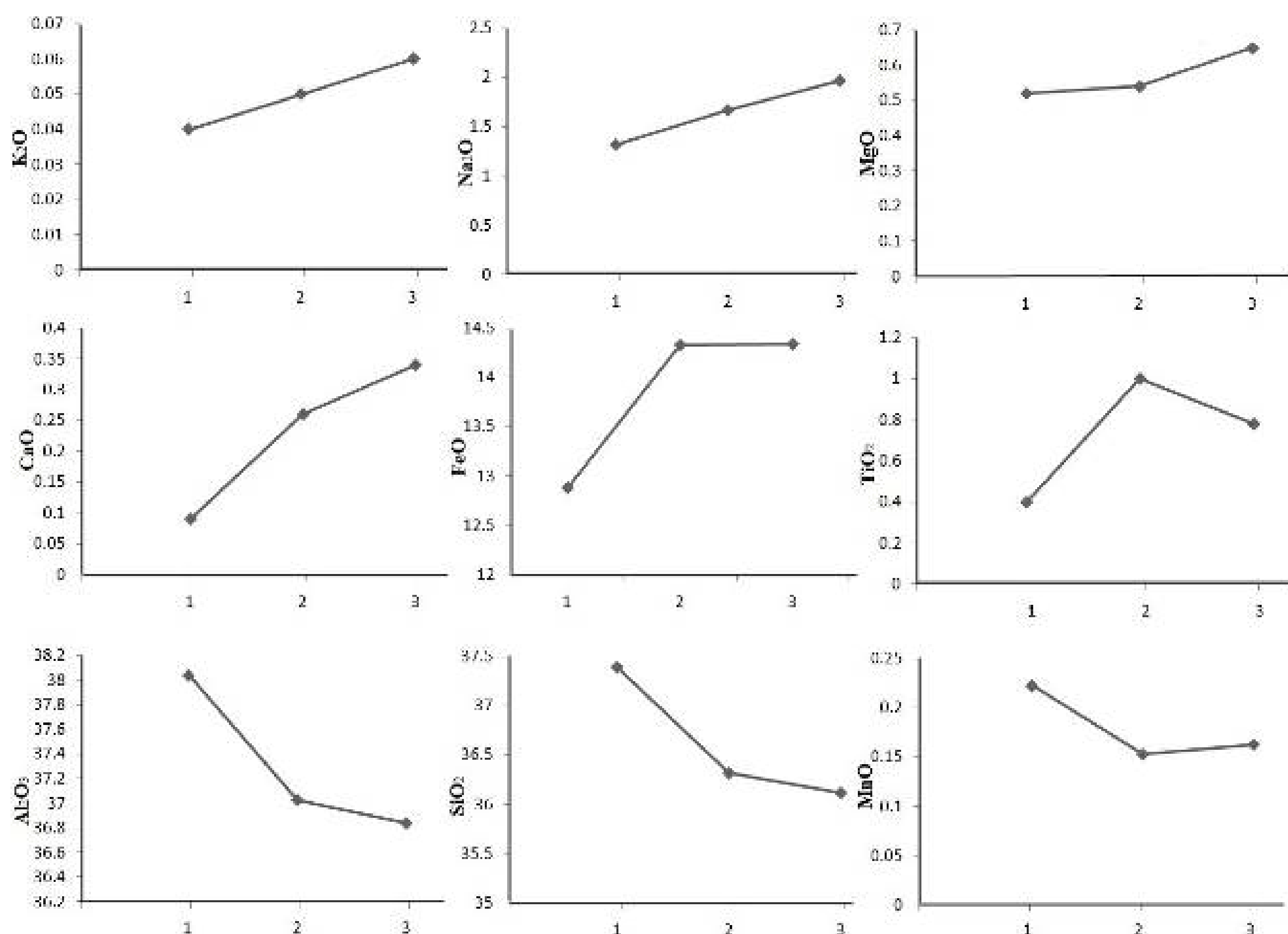
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

منطقه بندی در تورمالین‌ها

تورمالین‌های موجود در آپلیت-پگماتیت‌های مورد بررسی دارای منطقه‌بندی نمایانی هستند. این منطقه‌بندی هم در مقاطع میکروسکوپی (شکل‌های ۳ الف تا ت) و هم در نتایج تجزیه‌های انجام شده از مرکز به سمت لبه بلورها کاملاً مشهود است. نمونه‌ای از تجزیه‌های انجام شده و روند تغییرات عناصر از مرکز به سمت لبه در تورمالین‌های مورد بررسی در شکل ۸ دیده می‌شود که مقادیر K_2O، Na_2O، MgO، CaO و FeO روند صعودی و مقادیر Al_2O_3، SiO_2 و MnO روند نزولی دارند. منطقه‌بندی در تورمالین‌ها نشان دهنده تغییرات ناگهانی دما، فشار و ترکیب شیمیایی سیال و یا تبلور غیر عادی سریع تورمالین در سیستم‌های باز است [۲۳]. با توجه به روند ساختی دیده شده از لبه به سمت مرکز در این دایک‌ها (ساخت‌های نواری، گرافیکی، رشد عمود بر دیواره، ساخت‌های درشت بلور موجود در مرکز دایک)، می‌توان نتیجه گرفت که سیستم تشکیل این دایک‌ها بسته بوده و علت تشکیل تورمالین‌های دارای منطقه بندی تغییرات متناوب دما و فشار در مخزن ماگمایی طی تبلور است.

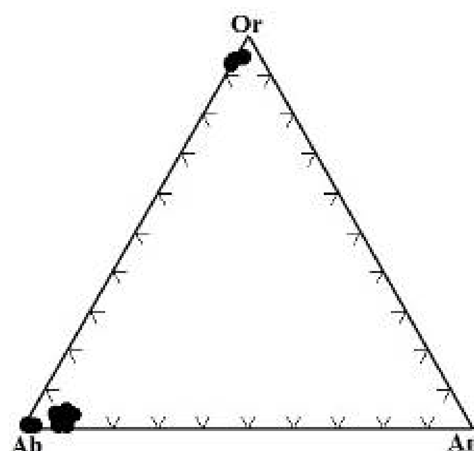
شیمی فلدسپارها

نمونه‌های فلدسپار موجود در آپلیت-پگماتیت‌های منطقه، سیمین تجزیه شدند که نتایج بدست آمده در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. محاسبه فرمول ساختاری آنها بر پایه ۸ اتم اکسیژن و به روش مرجع [۲۹] انجام شد که بر این اساس، پلاژیوکلازهای منطقه دارای ترکیب غالب آلبیت (Ab_{90-100}) و فلدسپارهای پتاسیم نیز دارای ۹۷٪-۹۲ درصد فلدسپار پتاسیم (Kf_{92-97}) هستند (شکل ۹). این امر نشان‌دهنده پیشرفت تبلور جدایشی در ماگمای وابسته است.



شکل ۸ تغییرات اکسیدها در تورمالین‌های دارای منطقه بندی مورد بررسی مربوط به منطقه سیمین (ترتیب نقاط از ۱ تا ۳ از مرکز بلور به سمت لبه بلور می‌باشد).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]



شکل ۹ ترکیب فلدسپارهای مورد بررسی موجود در آپلیت‌های منطقه سیمین.

پنج عنصر کلیدی که در بررسی‌های زمین‌شیمی فلدسپارها بیشتر در نظر گرفته می‌شوند K، Na، Si، Rb و Cs هستند [۲۱]. مقدار K و Na سدیمی و پتاسیمی بودن ترکیب فلدسپار را نشان می‌دهد. مقادیر بالای Si بیانگر حضور کوارتز در ساختار فلدسپار است و مقادیر بالای Rb و Cs نشان می‌دهد که این فلدسپارها بسیار جدایش یافته‌اند. از نظر سلوی و همکاران [۲۱] پگماتیت‌های بسیار جدایش یافته‌ی دنیا که دربردارنده فلدسپارهای پتاسیم درشت بلور هستند، دارای Rb>۳۰۰۰ppm، Cs>۱۰۰ppm و K/Rb<۳۰ هستند (جدول ۵). بر اساس مقدار اکسیدهای K_2O و Na_2O و نیز با توجه به شکل ۹، فلدسپارهای مورد بررسی در دو قطب غنی از آلبیت و غنی از فلدسپار پتاسیم قرار دارند. بیشترین مقدار Rb در فلدسپارهای مورد بررسی ۱۳۱۹ ppm می‌باشد و بیشترین مقدار Cs نیز ۲۰۵ ppm است (جدول ۵). کمترین مقدار K/Rb در فلدسپارهای سیمین ۱۰۶٫۴ و کمترین مقدار K/Cs نیز در آنها ۶۸۴٫۸ است. در مقایسه با داده‌های موجود در جدول ۵، ترکیب فلدسپارهای موجود بین فلدسپارهای گرانیت زایا و پگماتیت دربردارنده عناصر کمیاب قرار دارد که بیانگر جدایش یافتگی ماگمای تشکیل دهنده‌ی این آپلیت-پگماتیت-هاست. مقادیر نسبت‌های K/Rb و K/Cs در فلدسپارها به عنوان معیاری برای تعیین میزان جدایش یافتگی ماگمای وابسته محسوب می‌شوند. از آنجاکه عناصر Rb و Cs هر دو ناسازگار هستند، با پیشرفت تبلور جدایشی در ماگما، مقدار آنها افزایش می‌یابد و چون با پیشرفت تبلور جدایشی در ماگما، مقادیر K/Rb و K/Cs هر دو کاهش می‌یابند، نسبت به هم دارای هم بستگی مثبت هستند (مقدار ضریب هم بستگی آنها در نمونه‌های مورد بررسی ۰٫۴۴ است).

بحث

تورمالین‌های ماگمایی اغلب نسبت به تورمالین‌های گرمابی خود شکل هستند [۲۳]. تورمالین در اصل از ماگماهای گرانیتی نوع S که پرآلومین بوده و دارای مقدار B اولیه بیشتری هستند، در شرایط اسیدی (مقدار SiO_2 بالای ماگما) تشکیل می‌شوند. مقدار Al در تورمالین‌های گرمابی نسبت به تورمالین‌های ماگمایی کمتر است [۲۳] و مقدار کاستی در جایگاه X در تورمالین‌های گرمابی کمتر است [۲۰] (شکل ۵). براساس پژوهش‌های انجام شده در منطقه، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های موجود از نظر ضریب اشباع از آلومینیوم پرآلومین هستند [۳۰]، بنابراین شرایط مورد نیاز برای تشکیل تورمالین-های اولیه از ماگمای مادر فراهم بوده است. در شکل‌های ۴ پ، ۵ پ و ۶، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی ماگمایی قرار دارند.

جدول ۵ تمرکز عناصر ناسازگار در فلدسپارهای موجود در آپلیت-پگماتیت‌های منطقه سیمین در مقایسه با گرانیت و پگماتیت‌ها (مقادیر مربوط به نمونه‌های ستاره دار برگرفته از مرجع [۲۱] هستند).

پتاسیم فلدسپار موجود در	K/Rb	Cs (ppm)	Rb (ppm)
گرانیت نازا×	>۱۵۰	<۱۰	<۴۰۰
گرانیت زایا×	۳۰-۱۵۰	۲۰-۱۰۰	۵۰۰-۳۰۰۰
پگماتیت دربردارنده عناصر کمیاب×	<۳۰	>۱۰۰	>۳۰۰۰
سیمین	۱۰۶/۴-۲۲۶۰/۵	۰/۰۳-۲۰۵	۰/۳۸-۱۳۱۹

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]

بر اساس بررسی‌های منینگ [۲۳]، تورمالین‌های ماگمایی نسبت به تورمالین‌های گرمابی دارای نسبت Fe/(Fe+Mg) بیشتری (بیش از ۰٫۵ درصد) هستند [۲۸] (شکل ۴ پ). پیروی نکردن مقادیر Fe^{+2} و Mg از یکدیگر و بالا بودن مقدار Fe^{+2} نسبت به Mg در تورمالین‌های مورد بررسی نشان دهنده تشکیل آن‌ها بصورت ماگمایی است (شکل ۵ پ). بر اساس تغییرات (Fe#) = FeO/FeO+MgO در برابر MgO در تورمالین‌ها [۲۷]، مقدار Fe# در تورمالین‌ها با فاصله گرفتن از توده گرانیتی کمتر می‌شود. نسبت FeO/(FeO+MgO) در تورمالین‌ها اگر در گستره‌ی ۱ تا ۰٫۸ باشد نشانگر بسته بودن سیستم ماگمایی، قرار گرفتن تورمالین‌ها درون و در نزدیکی توده‌ی گرانیتی و دخالت نداشتن سیال‌های خارجی در تشکیل تورمالین‌هاست، قرار گرفتن این مقدار در گستره‌ی ۰٫۸ تا ۰٫۶ شاخص تورمالین‌هایی در فاصله‌ی نزدیک تا حد واسط نسبت به توده‌ی گرانیتی و نشان دهنده‌ی آن است که هم سیال‌های ماگمایی و هم سیال‌های گرمابی در تشکیل تورمالین‌ها نقش داشته‌اند؛ و در صورتی که مقدار FeO/(FeO+MgO) کمتر از ۰٫۶ باشد نشان دهنده‌ی تورمالین‌های با فاصله‌ی دور از توده گرانیتی است و اشاره به خاستگاه خارجی بور و وجود یک سیستم گرمابی دارد. بر این اساس، با توجه به قرار گرفتن تورمالین‌های مورد بررسی در گستره A، این تورمالین‌ها خاستگاه ماگمایی دارند (شکل ۶). ترکیب تورمالین‌های مورد بررسی بر نمودارهای سه تایی Al_{50} $Mg_{50}Al_{50}$ $Fe_{(tot)50}$-Al- و Ca-Fe-Mg در گستره‌ی شورل قرار دارد (شکل ۷). نمودارهای شکل ۷ نشان دهنده‌ی تغییرات Fe و Mg در مقادیر نسبتاً ثابت Al و Ca است. قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط شورل- دراویت نشان دهنده‌ی مقدار ناچیز Fe^{+3} در این نمونه‌ها است [۲۸]. بر اساس این نمودارها که سنگ منبع تورمالین را مشخص می‌کنند، نمونه‌های مورد بررسی، در گستره‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار می‌گیرند. پلاژیوکلازهای مورد بررسی در این آپلیت-پگماتیت‌ها دارای ترکیب آلبیتی هستند که نشان دهنده‌ی پیشرفت تبلور جدایشی در ماگمای تشکیل دهنده است. در تورمالین‌های موجود، منطقه‌بندی هم در مقاطع میکروسکپی و هم در نتایج تجزیه‌های انجام شده به خوبی مشهود است. در فلدسپارهای مورد بررسی، مقادیر بالای Rb (۱۳۱۹ ppm) و Cs (۲۰۵ ppm) و نسبت پایین K/Rb (۱۰۶٫۴) و K/Cs (۶۸۴٫۸) بیانگر جدایش یافتگی این نمونه‌هاست. همچنین در مقایسه با نمونه‌های مناطق دیگر دنیا، ترکیب فلدسپارهای موجود بین فلدسپارهای گرانیت زایا و پگماتیت دربردارنده عناصر کمیاب قرار می‌گیرد که بیانگر جدایش یافتگی ماگمای تشکیل دهنده‌ی این آپلیت-پگماتیت هاست.

برداشت

در دایک‌های موجود در منطقه سیمین همدان، ساخت‌های ماگمایی ویژه مربوط به دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی به صورت نوعی دیده می‌شود. در این دایک‌ها، ساخت‌های نواری، رشد عمود بر دیواره تورمالین‌ها و بلورهای درشت پگماتیتی دیده می‌شود. شکل دار بودن تورمالین‌های تشکیل شده، بالا بودن مقدار Fe/(Fe+Mg) در این نمونه‌ها (ترکیب شورل)، قرار گرفتن آنها در راستای بردارهای کمبود قلیایی نشان دهنده‌ی خاستگاه ماگمایی آن‌هاست. همچنین همه‌ی تورمالین‌های مورد بررسی در نمودار Fe# نسبت به MgO در گستره A قرار دارند که نشان‌دهنده‌ی خاستگاه ماگمایی آنهاست. در نمودارهای سه تایی Al_{50} $Mg_{50}Al_{50}$ $Fe_{(tot)50}$-Al- و Ca-Fe-Mg، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آن قرار دارند. منطقه‌بندی موجود در تورمالین‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییر ترکیب ماگما طی تبلور جدایشی است. پلاژیوکلازهای منطقه دارای ترکیب غالب آلبیت و فلدسپارهای پتاسیم نیز دارای بیش از ۹۲٪ پتاسیم فلدسپار هستند، که نشان دهنده پیشرفت تبلور جدایشی در ماگمای وابسته است. شیمی کانی‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که ماگمای تشکیل دهنده‌ی این آپلیت-پگماتیت‌ها جدایش یافته هستند.

قدردانی

نویسندگان مقاله از جناب آقای مهندس قلی‌زاده، کارشناس شرکت فرآوری مواد معدنی کرج و پروفسور دیوید لنتز، استاد دانشگاه نیوبونزویک کانادا، به خاطر همکاری‌شان در انجام تجزیه ها کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

[1] Jahns R.H., *"The genesis of pegmatites. I. Occurrence and origin of giant crystals"*, American Mineralogist 38 (1953) 563-598.

[2] Jahns R.H., Burnham C.W., *"Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallizationof granitic pegmatites"*, Economic Geology 64 (1969) 843–864.

[3] Anderson G.M., Burnham C.W., *"Feldspar solubility and the transport of aluminum under metamorphic conditions"*, American Journal of Science 283 (1983) 283-297.

[4] Tagirov B., Schott J., Harrichourry J.C., Salvi, S., *"Experimental study of aluminum speciation in fluoride-rich supercritical fluids"*,

[18] Rosenberg P.E., Foit, F.F., *"Synthesis and characterization of alkali-freetourmaline"*, American Mineralogist 64 (1979) 180-186.
[19] Slack J.F., Palmer M.R., Stevens B.P.J., Barnes R.G.,*"Origin significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill district, Australia"*, Economic Geology 88 (1993) 505-541.
[20] Trumbull R.B., Chaussidon M., *"Chemical and boron isotopic composition of megmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmaite system in Swaziland"*, Chemical Geology 153 (1999) 125-137.
[21] Selway J.B., Breaks, F.W., *"Tindle, A.G., A Review of Rare-Element (Li-Cs-Ta) Pegmatite Exploration Techniques for the Superior Province, Canada, and Large Worldwide Tantalum Deposits"*, Exploration and Mining Geology 14 (2005) 1-30.
[22] Torres-Ruiz J., Pesquera A., Gil-Crespo P.P., Vellila N., *"Origin and petrogenetic implications of tourmaline-rich rocks in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, southeastern Spain)"*, Chemical Geology 197 (2003) 55-86.
[23] Manning D.A.C., *"Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of Peninsular Thailand"*, Mineralogical Magazine 45 (1982) 139-147.
[24] London D., Manning D.A.C., *"Chemical Variation and Significance of tourmaline from southwest England"*, Economic Geology 90 (1995) 495-519.
[25] Pesquera A., Velasco F., *"Mineralogy, geochemistry and geological significance oftourmaline - rich rocks from the Paleozoic Cinco Villas massif (western Pyrenees, Spain)"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 129 (1997) 53–74.
[26] Pesquera A., Torres-Ruiz J., Gil-Grespo P. P., Velilla N., *"Chemistry and genetic implications of tourmaline and Li-F-Cs micas from the Valdeflores area (Caceres, Spain)"*, American Mineralogist 84 (1999) 55-69.
[27] Pirajno F., Smithies R.H., *"The FeO/(FeO+MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits"*, Journal of Geochemical Exploration 42 (1992) 371-381.
[28] Henry D.J., GuidottiCh.V., *"Tourmaline as petrogenetic indicator mineral: an example fromstaurolite-grade metapelites of NW Mains"*, American Mineralogist 70 (1985)1-15.
[29] Deer W.A., Howie, A., Zussman J., *"Anintroduction to the rock-forming minerals"*, Longman, London (1991) 528p.
[30] Tabrizi M., *"The role of dykes and late-stage veins in the evolution of the Alvand Plutonic"*, MSc thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (2013) .171p (in Persian).
GeochimicaetCosmochimicaActa 66 (2002) 2013-2024.
[5] London D., *"Pegmatites"*, Canadian Mineralogist Special Publication 10 (2008) 368 pp.
[6] Frahpour M., *"Petrofabric analysis of regional metamorphic rocks from east of Hamedan batholith"*, MSc thesis, TarbiatModares University, Tehran, Iran (1997). 120p (in Persian).
[7] Jafari S. R., *"Petrology of migmatites and plutonic rocks from south of Simin area (Hamedan)"*, MSc thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (2006). 156p (in Persian).
[8] MolaeeYeganeh T., *"A study of controling factors for irregular distribution of kyanite in the metamorphic and plutonic rocks of the Hamedan area"*, MSc thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (2009). 135p (in Persian).
[9] Izadikian L., *"Structural and petrofabric analysis of metamorphic rocks of Alvand mountain (south and southwest of Hamadan)"*, Ph.D. Thesis in tectonic, ShahidBeheshti university, Tehran, Iran (2009). 157 (in persian).
[10] Sepahi A. A., Salami, S., Tabrizi M.,*"Geochemistry of tourmalines in aplitic and pegmatitic dikes from Alvand plutonic and metamorphic rocks of the Hamedan area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 3 (2014) 495-506 (in Persian).
[11] Amidi M., Majidi B., *"Explanatory Text of Hamadan Quadrangle Map Scale 1:250,000. Geology Survey of Iran"*, (1977).
[12] Mohajjel M., Sahandi M., *"Tectonic evolution of Sanandaj-Sirjan zone at the northwest part and introduce new subzone"*, Scientific Quarterly Journal of Geoscience. 31-32 (1999) 2001.
[13] Izadikian L., Alavi A., Mohajjel M., *"Structural analysis of the Simin-DarrehMoradbeik shear zone, south of Hamedan"*, Iranian Journal of Geosciences 75 (2010) 39-46 (in Persian).
[14] Jafari S. R.,*"Petrology of high grade metamorphic rocks in Hamedan and adjacentareas inSanandaj-Sirjan Zone"*.Ph.D. thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (2018).201p (in Persian).
[15] London D., *"The origin of primary textures in granitic pegmatites"*, Canadian Mineralogist 47 (2009) 697–724.
[16] Hawthorne F.C., Henry D.J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group"*, European Journal of Mineralogy 11 (1999)201-215.
[17] Collines A.C., *"Mineralogy and geochemistry of tourmaline in contrasting hydrothermal system, Coplapo area, Northern Chile"*, Ph.D. Thesis.Univrsity of Arizona, United States (2010). 225p.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.3.3]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.37]